

出國報告（出國類別：洽公）

## 核三廠一號機 MS1R26 批次 燃料製造稽查

服務機關：台灣電力公司核能安全處

姓名職稱：何唯銘/核能工程監

派赴國家：美 國

出國期間：自 108 年 8 月 20 日至 9 月 1 日

報告日期：108 年 9 月 24 日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：核三廠一號機 MS1-R26 批次核燃料製造稽查

頁數 16 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力股份有限公司/人力資源處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

何唯銘/台灣電力公司/核能安全處-駐核三廠安全小組/主管品保/  
08-8893470 轉 3580

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他(洽公)

出國期間：108.8.20~108.9.1

出國地區：美國

報告日期：108.9.24

分類號/目

關鍵詞：稽查、核燃料製造

內容摘要：(二百至三百字)

本次經由現場實地稽查核燃料製造作業及審查製程品質文件，未發現有實質影響燃料束品質之缺失事項，故未開立稽查改正通知。本次稽查提出建議事項 2 件，包括(1)建議西屋公司對於二氧化鈾  $UO_2$  粉末中  $U_3O_8$  添加比例(addback)之數據紀錄方式，應建立統一做法並將相關做法詳述於規範內，以供遵循。針對此建議，西屋公司表示虛心接收，並會儘速改善；(2)另 108 年 6 月份核三廠執行 MS2R25 新燃料接收與檢查時，發現有幾束新燃料的 6G 跳脫指示(Accelerator)動作，之後依程序檢查確認燃料完整性未受影響。經了解美國境內也有類似的情況，研判與 TRAVELLER 新燃料鋼箱之使用有關，建議西屋公司研擬改進策略。西屋公司說明：已研擬改進策略，包括(A)在 TRAVELLER 新燃料鋼箱與拖板車接觸面加裝橡膠墊片，減低運送過程中的振動、(B)規劃加裝電子監測記錄器，以找出運送過程中於何處或何時發生較高振動、(C)研究評估新燃料置入 TRAVELLER 新燃料鋼箱之角度，以找出更穩定的置放方式。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

核三廠一號機 MS1-R26 批次  
核燃料製造稽查  
出國報告

目 錄

	<u>頁次</u>
壹、稽查概述 -----	1
貳、稽查範圍 -----	3
參、依據文件 -----	4
肆、稽查結果 -----	4
伍、結論與建議 -----	15

## 壹、稽查概述:

為確保本公司所購之核燃料符合品質規範要求，防止核燃料破損事故之發生，進而提高核能機組運轉之可靠度和安全性。公司內及原能會各級長官對本公司執行核燃料製程稽查作業相當關切，為期於短暫之稽查行程中，儘可能發揮防範廠家作業疏失之情況，本公司每批次填換核燃料均派員赴核燃料製造廠家進行製程稽查作業。

另依據本公司核能營運品保方案中有關廠商稽查之要求以及本公司向原能會報備之「核燃料製造稽查改進計畫」中之承諾，本公司應加強對核燃料製造廠商執行稽查。本次出國任務主要為透過有計畫的稽查規劃及執行，藉以督促核燃料製造廠遵循製程規範及執行品保方案，以確保本公司所購核燃料之品質，防止核燃料破損事故之發生。

核燃料製程稽查主要為針對製造廠家的品保方案、設計規範、製造程序書及檢驗標準等，依其對產品品質影響之重要性，選擇相關製程，擬訂稽查核項目，赴廠家製造現場查核實際作業是否符合相關規範及接受標準。

由於每批次核燃料製程長達三至五個月，因此有些作業無法實際執行現場稽查作業，則審查其製造過程之各項紀錄，如製程參數、抽樣檢驗、化驗及各項檢查之記錄，以評估製程是否符合材料及製程相關規範之標準及要求。

此次出國任務為執行核三廠一號機 Region 29、Cycle 27 (Reload 26)、材料設計型號為 FA\_17 OFA(Z+2)型(17O代表 17 Optimized)，訂購批號為 TWCR 之核燃料製程稽查。

西屋公司 FA\_17 OFA (Z+2) 型核燃料使用 0.360 inch 核燃料護套管，於西屋核燃料製造廠中之電腦代號為 OFA，有別於使用標準尺寸(0.374 inch)之核燃料護套管(Standard Fuel Rod)之電腦代號為 STD，Z+2 則為 Guide Thimble Design 之電腦特性代號。

本批次核燃料 TWCR 製造地點位於美國南卡羅來那州哥倫比亞市之西屋公司商用核燃料製造廠。稽查計畫編列 13 天(108/8/20~108/9/1)，扣除行程 5 天及例假日 2 天，共有 6 個工作天。

## 出國行程表

108/8/20~8/21	台北-紐約-夏洛特-哥倫比亞	往程
108/8/22~8/29	美國南卡羅來納州哥倫比亞	MS1R26 燃料製造稽查
108/8/30~9/1	哥倫比亞-紐約-台北	返程

本批次核燃料各零組件製程之圖面編號、材料編號、數量等均詳載於材料表內(Bill of Materials, BOM)。BOM 提供稽查作業參考之基本資料。依照合約，本批次核燃料共製造 72 束核燃料束（19008 根燃料棒），其中有 36 束之 U235 濃縮度為 4.60%，36 束之 U235 濃縮度為 4.95%。

稽查工作內容除現場抽查核燃料製造過程之各項作業，包括燃料丸製造、檢驗、燃料棒裝填、燃料格架製造，燃料束骨架組裝，燃料束組裝等各製程及其品質檢驗作業外，並審查前述各項作業之製程記錄。本次稽查在稽查員 108/8/29 下午離開時，已完成 22 組燃料束組裝。

西屋公司此一核燃料製造廠生產及檢驗之自動化程度頗高，製程中各項控制與管理，或是檢驗結果與記錄均是電腦化管理，如 ChAMPS、CRMS、S.P.I.D.E.R 等。電腦化管理程序係在燃料製造前先將各主要零組件規範輸入中央控制電腦，實際製造時，由於工作站電腦是與中央控制電腦連線，故工作站人員隨時可由工作站電腦擷取有關的燃料製造資料，諸如燃料組件規範、品質檢驗程序書和作業程序書等，同時亦可將最新之燃料製程資料上送至中央控制電腦。至於電腦化自動控制則是指燃料製程由各工作站電腦直接進行製程與檢驗數據之核對及執行必要的管控。舉例而言，從二氧化鈾粉末至燃料束組裝，整個製程中任一階段若發生不合規範之產品，電腦會自動判定為不合格並做標記，因此其核燃料成品較沒有不符合核燃料規範之疑慮。西屋公司核燃料製造廠自動化與電腦化之產品，除了符合 10CFR50 APPENDIX B 之品保規定，與獲得美國國家品質獎外，並獲得 ISO9001 檢證合格。

目前西屋公司對 Customer 之規定較嚴，進場之車輛及稽查員每日皆須在門口之檢查哨通過安全檢查，才得以在辦公室櫃台憑護照取得通行證。稽查員亦無法如從前一樣，上電腦連線閱讀相關資料並通過測驗後便可取得

「Unescorted Access」Badge。因此至現場巡查或離開 Customer Office 區域，包括上廁所，皆需西屋公司人員陪同，非常不方便。

西屋公司規定進入工作現場皆需穿著安全鞋(西屋公司提供安全鞋套)、戴護目鏡，且嚴格規定不可戴手錶、戒指(簡易型無鑽石之婚戒例外)等以防刮傷燃料組件或造成異物入侵。

目前西屋公司對 Customer 之稽查作業，除由計畫經理 Stephen Nance 直接處理相關進出及各項協助外，另由稽查辦公室旁之 QA 部門人員，提供計畫作業每日進度、EPN 報表及稽查員所需查閱之程序書或品質文件紀錄等，如有疑問隨即安排相關人員至辦公室解說，協助稽查作業順利進行。

## 貳、稽查範圍:

### (一)二氧化鈾粉末及燃料丸製程

- 1.二氧化鈾粉末混合及檢驗
- 2.燃料丸製程及檢驗

### (二)燃料護套製程

- 1.燃料護套管管錠
- 2.燃料護套成品
- 3.上/下端塞 (Bottom/End Plug) 品管文件審查
- 4.氣室彈簧品管文件審查
- 5.燃料護套管下端塞圍焊
- 6.燃料護套管下端熱處理增建氧化膜

### (三)燃料格架(Grid)製程

- 1.燃料格架點焊
- 2.燃料格架釩焊
- 3.燃料格架尺寸檢查

### (四)上端板 (Top Nozzle) 製程

### (五)燃料束骨架(Skeleton)製程

### (六)燃料棒製程

- 1.燃料丸裝填
- 2.上端塞圍焊及封焊

- 3.超音波 UT 檢測
- 4.燃料棒 (Z+2) Gamma Scan
- 5.燃料棒尺寸及外觀檢查 (D&V)
- 6.製程中品管查驗作業

(七)燃料束組裝及最終檢查製程

- 1.燃料束組裝
- 2.燃料束檢查
- 3.燃料束清洗、燃料束最終檢查及塑膠套披覆

(八)品質不符案件之審查

**參、依據文件:**

- (一)美國聯辦法規 10CFR50 APP.B
- (二)西屋公司核燃料製造品質管制指引(Quality Control Instruction)
- (三)西屋公司核燃料材料/產品規範書(Product/Process Specifications)
- (四)核燃料製造合約
- (五)核燃料製造圖面及規範

**肆、稽查結果：**

(一) 二氧化鈾粉末及燃料丸製程：

1. 二氧化鈾粉末混合及檢驗：

本批次核燃料所須使用之二氧化鈾 (UO<sub>2</sub>) 粉末及燃料丸共用了四個製程代號，分別為 FRDA\_03941、FRDA\_03942、FRDI\_04971、FRDI\_05301；其中 FRDA\_03941 燃料丸 (U235 濃縮度 4.6%) 及 FRDA\_03942 (U235 濃縮度 4.95%) 則用來裝填 ADU (Ammonia Disassociation Uranium) 燃料棒；FRDI\_04971 燃料丸 (U235 濃縮度 4.6%) 及 FRDI\_05301 燃料丸 (U235 濃縮度 4.95%) 將用來裝填 IFBA (Integral Fuel Burnable Absorber) 燃料棒；另有 Blanket Pellet 燃料丸 (U235 濃縮度 2.6%) 用在裝填本批次所有燃料棒之上部與下部各 6 吋長。

本次稽查期間稽查員依規範 PDPELE02 Rev.7 附錄 A、B、C、D 所訂定之規範要求，審查西屋公司已製造完成用於核三廠本批次燃料棒之二氧化鈾粉末共 18 個 Powder Blend Lots：#20190315、#20190321、#20190905 (以

上 U235 濃縮度 2.6%)，#20190909、#20190914、#20190938、#20190964、#20190978、#20190995、#20191011、#20191017、#20191023 (以上 U235 濃縮度 4.6%)、#20190770、#20190889、#20190979、#20190999、#20191007、#20191015 (以上 U235 濃縮度 4.95%) 等。審查之項目計有 UO<sub>2</sub> 粉末化學分析成分、鈾含量、O/U 比、同位素 (U234、U235、U236、U238) 含量比例、鉻含量、鐵含量、其他雜質總含量 (TMI) 以及等量硼含量 (EBC)，審查發現上述項目均符合規範要求。

## 2. 燃料丸製程及檢驗：

燃料丸之製造首先係選擇所要的 U235 濃縮度混合 UO<sub>2</sub> 粉末，再與燃料丸回收處理所獲之 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 粉末混合，而後研磨成粒狀 (Pre-compaction & Granulation)，再加入潤滑劑粉末 (Lubricant Adding) 後開始冷壓 (Pellet Pressing)、燒結 (Pellet Sintering)、研磨 (Grind Pellet)、乾燥、以及最後之表面缺陷檢查等五個程序。

本次稽查，稽查員至燃料丸生產線觀察燃料丸製造作業。首先到壓製機出口處之檢驗站觀察檢驗作業，發現檢驗員定期抽取燃料丸量其長度與重量，並將量測結果直接繪於燃料丸密度管制圖。稽查員觀察標示於管制圖上已有一段時間的量測結果，發現都未超出管制圖上所界定的範圍，顯示燃料丸壓製機台運作良好，不須對壓製機台設定參數做任何調整。其後再到乾燥箱後之另一檢驗站，此檢驗站一樣是量燃料丸長度與重量以算出密度，主要是作為 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 混入 UO<sub>2</sub> 粉末之“Addback”的比例及燃料生丸燒結爐溫度設定參考用。稽查過程中未發現製程管制缺失。

燃料丸通過乾燥站後，由傳輸帶送到第五站之表面缺陷檢查站，在此線上檢驗員先用燃料丸承裝托盤將燃料丸收集在一齊後進行燃料丸表面缺陷檢查，線上檢驗員參看檢驗站上方懸掛之檢驗判定標準來判斷燃料丸表面缺陷是否超越規範而須予以剔除，檢查相當用心和仔細。有缺陷的燃料丸被挑出丟入回收筒，其餘補滿一盤後，放入燃料丸儲存櫃。

燃料丸的檢驗則依規範 PDPELE02 Rev.7 規定，包括燃料丸之化學成份分析、同位素分析、含氫量分析、燃料丸直徑、長度、重量與密度量測、倒角、垂直度、凹盤深度及直徑量測等。對此一製程，稽查員查證的重點有下列各點：

(1) 回收之 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 混入 UO<sub>2</sub> 粉末之混合重量比例需小於 20%：

將 U3O8 混入 UO2 粉末之過程稱之為“Addback”，其目的有二，一為回收有缺陷的未經燒結燃料丸（最多為 3%、稱之為 Green scrap）或由有缺陷之燃料棒倒出的燃料丸（稱之為 Hard scrap）及燃料丸研磨所產生的粉屑（稱之為 Grinder sludge）；另一為強化 UO2 硬度與結構。製程中，操作員及品管員均會依製程工程師所研算出之混合比例表、作業程序書及 QCI 規定，執行必要的查對和檢驗。依第 4.4.6 節查證 U3O8 混入 UO2 粉末之混合重量比例紀錄，抽查 Blend Lot # 20190315(2.6%) 添加 7%、# 20190909(4.60%) 添加 10%、# 20191015(4.95%) 添加 8%，均符合規範要求(≦20%)。

**(2) 燒結爐最高溫區溫度須大於 1735°C 以上或燃料丸在最高溫區之燒結時間須大於 4 小時：**

依據規範 PDPELE02 Rev.7 第 4.4.5 節，燃料丸燒結作業之進料速度為每 20 分鐘進一個 Boat（船型燃料丸載裝器），Boat 一個接一個，依序進入燒結爐。燒結爐內四不同區段預先設定好不同溫度，依序為低、中、高、中、低（現場查設定溫度為 601oC→1712oC→1760oC→1703oC→冷卻）。一個燒結爐可容納 50~54 個 Boat，每一 Boat 行經燒結爐之時間約為 18 小時，其中行經 1735°C 以上之燒結時間可依燒結紀錄圖推算，至少有 5 小時以上，符合須大於 4 小時的要求。

**(3) 燃料丸成品各項檢驗結果與規範之符合性：**

本次稽查期間稽查員依材料規範 NFP-31029 Rev.56 所訂定之規範要求共審查西屋公司已製造完成之二十一個 Blend Lots。審查項目如下：

**A. 化學成份及同位素分析：**

審查燃料丸之化學成份、鈾含量、O/U 比、同位素（U234、U235、U236、U238）比例、鉻含量、鐵含量、其他雜質總含量（TMI）以及等量硼含量（EBC）等，審查確認上述項目結果均符合規範要求。

**B. 燃料丸密度及各部位尺寸：(S.P.I.D.E.R)**

依 QCI 910101 Rev.177 要求執行：

◎Pellet Lot Acceptance Test Report：每批次燃料丸需抽取 200 顆燃料丸執行直徑、長度、重量及密度之檢測(結果全部符合)。

◎Chamfer/Dish Inspections：每批次燃料丸需抽取 10 顆燃料丸執行 Chamfer 角度、長度，及抽取 10 顆燃料丸執行 Dish 凹槽深度及直徑之檢測；另每批次燃料丸需抽取 60 顆燃料丸執行垂直度之檢測(結果全部符合)。

◎Surface Roughness Inspection Report：每批次燃料丸需抽取 2 顆燃料丸(不同盤)執行 Roughness 之檢測(結果均符合)。

◎Pellet Shape Inspection Report：每批次燃料丸需抽取 10 顆以上燃料丸執行形狀檢查，檢查由 6 個不同的位置分別檢查，檢查結果 6 個不同的位置數值最大與最小者之差異須 $<0.001$ ，平均值須介於 0.3083~0.3093。

稽查期間稽查員審查西屋公司已製造完成之二十一個 Blend Lots 之燃料丸檢驗紀錄，審查確認上述項目均符合規範要求。

稽查期間稽查員至現場觀察 QC Inspector 依據 WPS 038「PELLET VISUAL STANDARDS Rev.5」執行 Visual Inspection Overcheck 情形，發現 Inspector 動作熟練、經驗老到。該項檢驗之要求：燃料丸每一 CARRIER 需任意取 3 個 TRAYS，審查西屋公司上述項目檢驗紀錄結果均符合規範要求。

### C. 氫含量分析：

依 QCI #910210 Rev.95 Para.1.7 節之規定，每一實心型(Solid) 混合批次燃料丸混合批次需取 10 個樣本執行氫含量分析，但每一中空型(annular) 混合批次燃料丸若含 30 盤以上則需取 60 個樣本執行氫含量分析；若含 11~29 盤，則每盤抽取 1 個樣本執行氫含量分析；若含 10 盤以下則抽取 10 個樣本執行氫含量分析。

稽查員抽驗本批次燃料中 Blend /Lot No:20190928 燃料丸之含氫量，發現皆未超出規範之各項要求。由檢附之檢驗報告：此批號燃料丸為實心型 (Solid) 故抽樣 10 顆，分析結果 10 顆燃料丸之平均值為 0.08 ppm ( $<0.40\text{ppm}$ )，Standard Deviation 為 0.02 ppm (未訂定接受標準值)，樣本平均值(X bar) 95 信心度值為 0.09 ppm ( $<0.38\text{ppm}$ )，單顆燃料丸氫含量最高 0.10 ppm ( $<1.00\text{ppm}$ )，95x95 信心度值為 0.13 ppm ( $<1.00\text{ppm}$ )，符合接受標準。

### (二) 燃料護套製程：

西屋公司之燃料護套雖在匹茲堡的特殊金屬加工廠製造，但製程中之材質與檢驗紀錄均可在哥倫比亞核燃料製造廠獲得並加以查證。本批次燃料之燃料護套為 Zirconium-Niobium Alloy，含 Low Tin (0.8~1.10%) 並填加 Niobium (0.80~1.20%) 之 Zirlo 材質。稽查重點為查核 tube shell ingot 之化學成份及雜質含量，護套加工後之各項物理特性、機械特性、和防蝕特性，以及護套成品之尺寸與缺陷檢測等。查驗結果摘述如下：

### 1. 燃料護套管管錠：

使用於本批次 (TWCR) 燃料之護套分屬 U09857Z/U09875Z/U09876Z/U09877Z/U09880Z/U09886Z/U09897Z/U09851Z/U09889Z//U09899Z/U09901Z/U09903Z/ U09905Z/等十三個不同爐號之管錠(Ingot)。材料查驗重點主要有 Zirlo 材料的合金成份、雜質含量及 3 Day Steam Corrosion Test。稽查員依據材料規範 MATBZL00-3(NFD-31088-3) Rev. 20 之要求，抽查上述 U09877Z/U09897Z/U09886Z/U09899Z 等 4 個爐號品質文件中有關 Zirlo 合金成份：Fe、Nb、O、Sn 及查驗雜質含量：Al、B、C、Ca、Cd、Cl、Co、Cr、Cu、H、Hf、Mg、Mn、Mo、N、Ni、P、Pb、S、Si、Ta、Ti、U、V、W，發現皆符合標準。另再查證上述 4 個爐號之 3-Day Steam Corrosion，其中每個爐號皆有做 3 個 Sample Test，測試結果也都符合規範。此外，材料測試重點項目為機械特性 (Contractile Strain Ratio、Room Temperature Tensile Test)、氫化物排列方向 (Hydride Orientation)、抗腐蝕特性 (750°F 以上 Steam Corrosion Test)、UT 測試 (Surface and Internal Defects)、表面光滑度 (Surface Roughness) 及各部位尺寸 (Dimensions) 等，測試結果也都符合規範。

### 2. 上/下端塞 (Bottom/End Plug) 品管文件審查：

西屋公司燃料棒上、下端塞成品係由其下包商 VALLORBS JEWEL COMPANY 提供 (但其材料仍由西屋公司之 Western Zirconium 所供應)，下包商並提供品質檢驗文件。本次稽查員抽查本批次燃料棒製程所用到的上端塞品質檢驗文件一個批次 060519J 共 13401 件，品管文件編號 QCIR 19-3587。另抽查下端塞品質檢驗文件，批次 050819C 共 9509 件，品管文件編號 QCIR 19-3100，皆符合西屋公司圖號 PGFT100H07 Rev.12/PGFB100H21 Rev.29 以及規範 MABRZR00 Rev.20 之接收要求。

### 3. 氣室彈簧品管文件審查：

西屋公司燃料棒氣室彈簧成品由下包商 HOOSIER SPRING CO., INC.

提供，下包商並提供品質檢驗文件。本批次燃料棒所用之氣室彈簧共 49 批次。抽查批次 532872-A，其品管文件為 QC19-2675 並從品管文件上審查化學分析、尺寸大小、機械性質、流程控制、清潔度與外觀檢查、目視檢查、及材料特性等關鍵參數或特性，發現皆符合西屋公司規範 PDSGSS00-4 Rev.23 之接收要求。

#### 4. 燃料護套管下端塞圍焊：

下端塞圍焊之步驟為利用氬氣清潔燃料護套管內部，利用棉線清潔焊接端後，插入下端塞，進行圍焊。圍焊所採用之各項焊接參數如燃料棒轉速、各階段之焊接電流和時間等，均已事先輸入自動焊接機以控制焊接作業。8/26/2019 上午稽查員現場抽查圍焊、超音波校準等作業，下端塞圍焊儀器編號 QC22578(有效期限 10/13/2019)、QC22595(有效期限 10/13/2019)，均符合要求。

#### 5. 燃料護套管下端熱處理增建氧化膜：

整個氧化膜增建及檢查程序均依照 MOP-760001 Rev.39 執行，每值開始必須填寫 Oxide Coater II In-Process Checkoffs：Q.C. Form #CF-76-008 Rev.8，8/26/2019 現場稽查系統空氣壓力、氬氣壓力和氬氣壓力均符合規定。

### (三) 燃料格架(Grid)製程：

本批次核燃料每一束燃料共使用 11 組燃料格架，從上而下分別稱 Top Grid, Mid Grid, IFM Grid, Mid Grid, IFM Grid, Mid Grid, IFM Grid, Mid Grid, Mid Grid, Mid Grid, Bottom Grid and P-Grid (共稱一組)。此 11 組燃料格架並分屬四種不同的類型，即 Top inconel grid, Zircaloy Mid grid, IFM grid, Bottom inconel grid 和 Protective grid (合稱一組，Protective grid 之功用為防止 Debris 進入燃料束內)。本項製程作業之稽查重點為燃料格架之點焊 (for Zircaloy Mid grid 和 IFM grid only)、銅焊 (for Inconel grid only) 及格架之尺寸與外觀檢查 (D&V)。茲分別敘述於下：

#### 1. 燃料格架點焊：

稽查員抽查 SK19-01848 SKELETON 編號 GRDU-31733 之 Top Grid 之焊點拉伸強度測試結果之記錄值為 321 lbs 和 354 lbs，符合規範要求 ( $\geq 320$ )

lbs)。另抽查編號 SK19-01851 SKELETON 編號 GRDU-40445 之 Protect Grid 與 Bottom Grid 組合之焊點拉伸強度測試結果之記錄值為 225/236 lbs，符合規範要求( $\geq 170$  lbs)。此外，8/26/2019 下午現場稽查拉伸機編號 QC-29073，有效期限為 10/6/2019，符合要求。

## 2. 燃料格架銅焊：

銅焊 (Brazing) 作業係用在焊接格架內各格板。銅焊之進行首先在各格板交接處添加焊料，焊料之添加係利用機械手臂自動添加以求均勻，惟在套管 (Thimble tube sleeve) 和四個邊角部分無法以上述自動方式添加而必需由人工添加焊料。添料後將整個格架送入高溫爐在真空的環境中加熱至  $950\sim 1000^{\circ}\text{C}$  並維持至少 1 小時，但不得超過 5 小時。8/27/2019 現場稽查確認高溫爐真空度為  $2.6 \times 10^{-5}$  torrs，符合須保持在絕對壓力小於  $10^{-3}$  torrs 之要求。銅焊加熱完成後需進行冷卻硬化處理。每批次銅焊須取 2 件樣本進行拉伸試驗 (又稱 Dog Bone Test，樣本需經過同樣之硬化處理，包括銅焊樣本及 Strip 試片)，試驗結果需顯示樣本之降伏應力 (Yielding strength) 應大於 150 kpsi。稽查員於 8/28/2019 下午到品質檢驗中心觀察各項品質檢驗作業狀況，並抽查本批次燃料格架製作高溫爐號 44031-1/44031-2 樣本降服應力之測試值，測試結果為 166.7 kpsi /165.56 kpsi，均符合規範要求 (大於 150 kpsi)。拉伸機編號 QC-9000，有效期限至 10/20/2019，符合要求。

## 3. 燃料格架尺寸檢查：

稽查員抽查 SK18-00545 SKELETON 之 TOP GRID 編號 GRDU-31733 格架用 VIEWER 執行自動檢查及調整後，最後再經 VIEWER 檢查並確認符合檢查相關規範後，列印出最終電腦輸出紀錄。8/26/2019 現場稽查確認 VIEWER 檢驗設備 編號 QC-29183，有效期限 9/22/2019，符合要求。

## (四) 上端板 (Top Nozzle) 製程：

8/27/2019 現場稽查確認組裝作業皆確實依圖面 SKETCH NO. 730804-45 Rev.2 及程序書 MOP-730804 Rev.137。

## (五) 燃料束骨架 (Skeleton) 製程：

本項製程稽查主要係赴現場查核燃料骨架之組裝及檢驗作業是否依相關程序書執行，以確保各格架上下端板位置、方向之正確性、固定方式

是否牢靠等。查核之重點項目包括下端板 Y 記號及方向、格架外框及內板導片(Vanes)方向、Thimble Tube 擴管位置、尺寸、骨架垂直度、平行度、儀器管之定位、Thimble Screw 之安裝與扭力檢測以及清潔度等。8/23/2019 查核現場作業狀況，作業員在工作場所擺設本批次燃料束骨架圖面 SKBI700H20 及檢驗程序書 QCI-936121 Rev.299、SKETCH NO.：936121-53 Rev.11，並依據燃料束骨架檢驗表(CF-73-041)逐項檢驗確認。Thimble Screw 之安裝必須以校正過之扭力扳手(Torque Wrench)檢驗其鎖磅值，以確保 Thimble Screw 之妥善定位。扭力扳手必須每值一次以扭力校驗器(Torque Tester)驗證其校正之扭力值(25.0±1.5 in-lbs)。8/23/2019 稽查員於現場查驗扭力校驗器 (QC-28366)，有效期限為 9/1/2019；再於現場查核扭力扳手(QC-29179)，有效期限為 9/22/2019，均符合規定。扭力扳手每值校驗均需留存紀錄，8/23/2019 下午現場稽查 Torque Wrench Log 校準記錄值 24.7 in-lbs，在接受標準 23.8~25.8 in-lbs 範圍內。製作完成的骨架(Skeleton)，在執行燃料組裝前，須再執行一次檢查以確保該骨架的品質符合標準。8/23/2019 稽查員於現場稽查編號 SE-19-01845 骨架之檢查，確認現場工作人員依規定 QCF-539 逐項檢查，檢查結果符合要求

#### (六) 燃料棒製程：

所有燃料棒製造瑕疵情況，西屋公司已建立 Authorized Rework List for Rods & Tubes，SKETCH NO.：750258-1 Rev.55 (Defect Code)，整個燃料棒製程階段之稽查內容及結果分項說明如下：

##### 1. 燃料丸裝填：

ADU 與 IFBA 燃料丸在不同之廠區裝填，其基本不同在：IFBA 燃料丸因為有 Coating 怕受潮而須在密閉空間裝填 (Dry Box)，其裝填總長度之量測及調整，完全以自動之方式進行。完成燃料丸裝填後以條碼機讀取所裝填燃料丸之批號，再由電腦自動記錄。

本次燃料稽查有特別要求前往 IFBA 燃料棒廠區，未發現有不符程序書或檢驗規範之情形。

##### 2. 上端塞圍焊及封焊：

相關製程包括：棉線清潔端口、填裝氣室彈簧、插入上端塞、圍焊、充氬氣及封焊。8/27/2019 稽查員赴現場查證整個燃料棒裝填及焊接流程，並審查作業員每值是否依 Tube & Fuel Rod In-Process Checks：Q.C. Form #

CF-75A-017A 查驗自動焊接機狀況及填寫記錄，未發現有不符程序書或檢驗規範之情形。

### 3. 超音波 UT 檢測：

為瞭解本公司本批次燃料，針對上端塞焊接 UT 檢測被拒收過之燃料棒，是否有經重作(Rework)或修復(Repair)後使用於本批燃料之情形，因此要求列印出迄 108/8/26 為止，本批次燃料中曾有被 UT 檢測拒收記錄之所有燃料棒數量、編號及瑕疵情況，查證其中因上端塞焊接不良被 UT 拒收之缺陷如 Top End Plug Girth Weld Penetration Sample( Defect Code 65000442)、Top Girth Weld Corrosion Sample( Defect Code 65000542)、Top Girth Weld -Weld Monitor failure (Defect Code 65000252)、Discolored Top Girth Weld (Defect Code 65000051)、Top Girth Weld Tungsten (Defect Code 65000006)。並查證其中上端塞焊接不良者，一律需以棄用(Scrapped)處理，不准用於本公司之燃料中之處理情形，本次未發現有不符合約要求之情形。

### 4. 燃料棒 (Z+2) Gamma Scan：

為瞭解本公司本批次燃料，針對 Gamma Scan 檢測是否有經重作(Rework)或修復(Repair)後使用於本批燃料之情形，因此要求列印出迄 108/8/29 為止，本批次燃料中曾有被 Gamma Scan 檢測拒收記錄之所有燃料棒數量、編號及瑕疵情況，查證其中被拒收之缺陷如 Passive Gamma Scan Inspection，已以棄用(Scrapped)處理，不准用於本公司之燃料中之處理情形，本次未發現有不符合約要求之情形。

### 5. 燃料棒尺寸及外觀檢查：

稽查期間稽查員到 D&V 工作站抽驗所使用之各項量規（長度丈量計 QC-29185 校正效期是 2/16/2020；上端直徑量測計 Top Ring Gage QC-26963 校正效期是 9/10/2019；下端直徑量測計 Bottom Ring Gage QC-19252 校正效期是 9/10/2019），都在有效期限內，作業員也均有依照程序書規定執行檢測，且動作純熟，未發現任何作業缺失。

### 6. 製程中品管查驗作業：

為確保燃料棒製程之正常運作，西屋公司品管程序書 QCI#927104 Rev.127 要求在燃料棒製造區，品管人員應針對燃料丸之裝填、上下端塞焊接、UT 檢測、燃料棒氧化加工等作業，至少每值應執行一次查驗工作，並將查驗結果紀錄於 QC Form 231 Rev.77 “ Fuel Rod In-Process Checks” 中，

即使該區域停工亦需在表上註記。稽查員確認紀錄之填寫內容詳實，每一設備之作業參數均記錄確實。

## (七) 燃料束組裝及最終檢查製程：

### 1. 燃料束組裝：

燃料束組裝係依據 MOP-730106 Rev.80 程序書執行，先將每一束燃料所需之總燃料棒（264 根）按照燃料束之 Rod Pattern 裝填至 17×17 之儲存架內（此架稱為 Magazine，其大小及排列方式與燃料束相同），然後再依預先設定好的程式配合現場以掃描器讀入每一支燃料棒之編號後，以 Rod Loading Machine 牽引每一支燃料棒至定位。牽引方式係一次一排，惟為顧及拉力平衡，乃上下各排交錯進行（一上一下）。燃料棒全部組裝完後需先經品質保證(QA)人員檢查，確認無誤後才分別安裝 Top Nozzle 及 Bottom Nozzle。

稽查期間至現場查看本批次核燃料束之組裝作業過程，包括：

- (1) 查證燃料束在 Bottom Nozzle 處上緊 Thimble Screw 之工具(Thimble Nut Torque Wrench，編號 QC-29018)，其安裝扭力值 24.7 in-lb，符合 23~27 in-lb 之接受標準，校正有效日期為 9/22/2019
- (2) 安裝 Top Nozzle 後 Expand Tubes 之力道是否在 23~27 in-lb，現場查證 Torque Wrench (QC-27930) 其安裝扭力值 24.5 in-lb，校正有效日期為 9/22/2019。
- (3) 上下端板 S 孔尺寸是否正確。
- (4) 核對部分使用中之工具之校驗是否在效期內，例如 Thimble Nut Torque Wrench (QC-27928)，效期 9/22/2019、上端板 S 孔驗證量具(QC-10521) 效期 9/22/2019、下端板燃料棒間隙量具 Rod Gap Gage (QC-09808) 效期 2/9/2020，結果均符合。
- (5) 品管人員應進行目視檢測，除查看組裝過程有否造成不當刮傷外，並需以 Gauge 檢查 Thimble Screw 之擴孔是否妥當，並紀錄在” Log Sheet for Thimble Screw Overcheck Inspection” 之記錄檔案中。
- (6) 各工作站作業員依燃料束組裝作業流程表(Fuel Assembly Build Status-Component Build)逐項執行安裝及檢查，並簽註於電腦流程表中。
- (7) 上述稽查結果未發現缺失。

## 2. 燃料束檢查：

組裝完工後之燃料束檢查係依據 QCI-938410 Rev.117 程序書執行，尺寸量測工具係一套配合 LVDT (Linear Verification Digital Transmitter) 並經校驗之自動檢測量具，量具每兩週需校正一次。檢測項目包括各格架相對於下端板 (Bottom Nozzle) 之前後左右對齊度(Alignment)及扭曲度(Twist)。此套系統自動計讀檢查結果並與設定值比較，結果可由印出的報表查看，任何超過規範之偏差均可得知，作業員可就偏差情形做進一步的處置，直到檢查結果合乎規範。現場稽查確認量具依規定執行定期校正。108/8/23 現場稽查確認量具依規定執行定期校正。審查燃料束 (編號 TWJ262) 之檢查結果文件，未發現缺失。

## 3. 燃料束清洗、燃料束最終檢查及塑膠套披覆：

燃料束做完一般檢查後即依據 MOP-730502 Rev.53 「Fuel Assembly Cleaning-General」及 MOP-730752 Rev.32 「Final Manufacturing Clean Check」之要求執行燃料束清洗及最終檢查。首先依序放入二個高溫之熱水池 (Wash / Rinse / De-mineralized Rinse Tanks)，各清洗 10 分鐘 (不可在池內同時升起或放下 Fuel Assembly)，熱水之溫度須介於 155 °F ~195 °F 之間，導電度須  $\leq 18.0 \mu \text{ s/cm}$  之間。108/8/26 現場查證二個熱水池溫度分別為 175.6 °F (溫度計編號 QC-14644，有效期限 11/7/2019)、176.2 °F (溫度計編號 QC-14643，有效期限 11/7/2019)、導電度  $3.04 \mu \text{ s/cm}$ ，均符合要求。

清洗後再次由人工依據 QCI-938501 Rev.171 「Final Assembly Inspection(Clean Check)」做最後的清潔檢查，清潔檢查通過後即用塑膠套披覆 (不可超過 24 小時)，然後吊掛在儲存區等候裝箱運往電廠。現場查證符合要求，觀察作業員執行清潔檢查非常仔細，未發現缺失。

## (八) 品質不符案件之審查

西屋公司在核燃料製造期間發現有任何品質不符規範要求的事項時，立即開立 EPN (Electronic Problem Notice) 做追蹤處置。開立 EPN 的狀況在每份 QCI (Quality Control Instruction)內均有指定，其狀況約可歸納為：

1. 品質檢驗時發現品質不符的情況不十分明顯，須做進一步的確認。
2. 已通過檢驗的材料、組件、成品在複審時發現檢驗的器具、執行過程、執行方式、檢驗的完整性、結果判定有瑕疵。

3. 品質不符事件重複發生，須提防範措施及做經驗回饋。
4. 品質不符的肇因不明確，須進一步的探討與追蹤。
5. 其他。(註：QCI 訂定的情況有許多，不便一一列舉)

當 EPN 案件被認為是較複雜的個案時，將另開立 CAP (Corrective Action Program)做較深入的肇因探討與提改善行動，甚至做經驗回饋等，此等 EPN 的結案則須等候對應的 CAP 結案後才能結案，因此，所有品質不符案件的審查，仍以 EPN 案件為主體，但有 CAP 之 EPN，審查時，其附屬之 CAP 也都會納入審查。經查本批次開立之 EPN，有 2 件開立 CAP (Corrective Action Program)做較深入的肇因探討與提改善行動，已改善完成後結案。

為能確保本批次核燃料製造期間異常事件都能獲得妥善處理，並能確保本批次核燃料製造品質，稽查一開始即要求西屋將過去已開立與本批次 TWBR 核燃料製造有關之 EPN (Electronic problem Notice)報表列印送稽查員審查；同時也要求西屋往後每日亦將新開立之 EPN 立即送審。

經統計，截至 8/29/2019 前所開立與本批次核燃料製造有關之 EPN 共 64 件，其中 59 件已結案，其處置方式未發現不符合情況；尚未結案有 5 件，8/29/2019 稽查員離廠時尚在調查中。較重要者說明如下：

EPN-0138018A：8/27/2019 14:25 編號 J261 燃料束在執行組裝時，QC 人員發現有 9 個位置的燃料棒於燃料底部位置似乎過於突出，經產品保證工程師 (PAE) Bobby Joyner 依規範 MOP-730102 Rev.78 及圖面 6482E83 進行檢查，經任選 15 支燃料棒檢查確認不致碰觸到下端板(Bottom Nozzle)，故燃料棒底部位置仍在可接受範圍內，之後將這 9 支燃料棒拉出後重裝。8/28/2019 14:00 稽查員現場查看，Bobby Joyner 說明相關檢查作業的依據與方法，以及如何判定燃料棒不致碰觸下端板(Bottom Nozzle)，之後順利完成 J261 後續組裝。

## 伍、結論與建議：

- (一)本次稽查經由現場實地查核製程作業及審查製程品質文件，未發現有實質影響燃料束品質之缺失事項，故未開立稽查改正通知。
- (二)本次稽查提出建議事項 2 件，分述如下：

1. 西屋公司規範 PDPELE02 Rev.7 第 4.4.6 節要求二氧化鈾 UO<sub>2</sub> 粉末之 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 添加比例(addback)須小於 20%，另 PDPELE02 Rev.7 第 5.2 節亦要求能追溯及確認相關批次燃料丸及粉末符合要求。本次 TWCR 燃料共使用 18 個批次的二氧化鈾 UO<sub>2</sub> 粉末，稽查發現在 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 添加比例之紀錄保存出現差異。18 個批次中，有 6 個批次的數據紀錄於表格 TAF-005-2，另外 12 個批次的數據則紀錄於 ChAMPS 資料庫。此種差異雖不至影響數據的可追溯性，稽查員仍建議西屋公司統一做法，並將相關做法詳述於規範 PDPELE02 Rev.7，以供遵循。西屋公司說明：感謝稽查員的指正，會儘速完成改善。
  2. 108 年 6 月份核三廠執行 MS2R25 新燃料接收與檢查時，發現有好幾束新燃料的 6G 跳脫指示(Accelerator)動作，後依程序檢查確認燃料完整性未受影響。經了解美國境內也有類似的情況，研判與 TRAVELLER 新燃料鋼箱之使用有關，建議西屋公司研擬改進策略。西屋公司說明：已注意到此現象，並已研擬改進策略，包括(1)在 TRAVELLER 新燃料鋼箱與拖板車接觸面加裝橡膠墊片，減抵運送過程中的振動、(2)規劃加裝電子監測記錄器，以找出運送過程中於何處或何時發生高振動、(3)研究評估新燃料置入 TRAVELLER 新燃料鋼箱之角度，以找出更穩定的置放方式。。
- (三)整體而言，西屋公司之現場作業員對其負責之作業程序均甚為瞭解，對線上組裝、檢驗、抽樣、儀表工具使用及設備操作等作業亦為熟稔。其次為西屋公司在核燃料製程之檢驗及管制上已大量採用 ChAMPS、CRMS、S.P.I.D.E.R 等電腦化作業，不但有利於文件之管制及存檔，並可減少不必要的人為疏失，大大提昇品質之可靠度。就整體製程之品保作業而言，品質可靠度相當良好應可予肯定。
- (四)實務上，西屋公司之現場可能同時有好幾家不同電力公司的核燃料同時在製造中，加上現場之實際進度未必能與規劃一致，因此現場稽查時不一定可以觀察到本公司燃料之製程。建議稽查員到達現場後，應每天要求西屋人員提供隔天現場的工作規劃，若有本公司燃料之製程則執行現場稽查，若無則執行文件審查，方可充分利用 6 個工作天的稽查時程。